

地震記錄自動處理裝置*

市川 政治**

550.34.038

Automatic Processing System of Seismograms in Japan Meteorological Agency

M. Ichikawa

(*Seismological Division, J. M. A.*)

Japan Meteorological Agency installed a magnetic tape recording seismograph system at more than 70 weather stations in order to detect shallow earthquakes of magnitude down to 3 occurring in Japan and its vicinity. The annual number of the events of magnitude larger than 3 in the area will be a few thousands in usual seismic activity. And, it is expected that the number of records made by the seismographs of the network will be 50,000 a year on the average (Ichikawa, 1978).

To deal with this amount of records, the conventional manual operation should be replaced as far as possible by automatic processes. For this purpose, JMA had since 1970 been engaging the development of an automatic system for processing seismograms of the magnetic tape, and an automatic processing system for routine work was installed in the Seismological Division in 1975.

The earthquake records on the magnetic tape is processed by the system in the following order:

1) The earthquake records stored as analog data on the tape are digitized through on an A-D convertor. The sampling frequency for the seismic data is about 30 Hz (2 KHz for the input analog data).

2) The magnetic tape on which digitized seismograms are stored (D tape) is fed into the said automatic processing system. The system performs analysis of the seismograms in the following way;

- i) Unpacking of the stored seismograms on the D tape.
- ii) Decoding of station number, and date and time of earthquake occurrence.
- iii) Removing of DC offset, fixing of the beginning of earthquake record, and evaluation of noise levels.
- iv) Reading of *P* and *S* arrival times, maximum amplitude, etc.
- v) Reading results are sent as output to the magnetic tape and line printer, with the procedure being brought back to i).

3) By the use of the magnetic tape mentioned in 2-v), the seismogram, reading results, etc. are reproduced on a graphic display attached to the system for evaluation by an operator. If the results are found not good, a point as consider appropriate on the seismogram of the graphic display is externally indicated to the unit through a joystick, and the value of the said point is read by the computer to replace the previous value given by the computer.

4) The magnetic tape with the checking of the reading results completed is edited and sorted into chronological order to determine earthquake parameters.

5) Based on the results of determined earthquake parameters, residuals of *P* and *S* arrival times, and of maximum amplitudes are calculated. Revision of the reading results is carried out.

6) The magnetic tape is edited to prepare observation tables classified by station and time.

At Step 2 where the analysis of seismogram is performed, the processing of one record will require 5-8 seconds, and the seismograms and results given by the computer are reproduced on the display screen within several seconds.

* Received Dec. 1, 1979

** 気象庁地震課

§ 1. ま え が き

地震予知計画推進と津波予報の迅速化のため、気象庁は昭和42(1967)年から47(1972)年にかけて、全国60余か所に磁気テープ記録式地震計(以下67型地震計と略称)を設置した。

この装置で収録された地震記録の解析は、従来、各管区気象台に設置された半自動解析装置で集中的に行われて来た。この人手による解析を、磁気テープ記録という特長を生かして、電子計算機でより能率的に行うため、昭和45(1970)年から気象研究所で業務用高性能地震記録処理装置の開発が行われて来た。

昭和49(1974)年度予算で、地震記録自動処理装置設置が認められ、気象研究所における開発成果に基づく業務用装置が昭和50(1975)年1月に気象庁地震課に設置された。これによって、同年4月から全国の67型地震計記録は、集中処理されるようになった。

一方、67型地震計設置官署の多くは、その周辺の都市化により、地震検知力が著しく低下した。そこで、昭和51(1976)年度から53(1978)年度にかけて、67型地震計観測網の補強が行われた。

76型磁気テープ記録式地震計(以下76型地震計と略称)と呼ばれるこの地震観測システムは、従来のように気象官署構内に変換器を設置するのではなく、人工的雑音発生源から離れたノイズレベルの低い地点の地下に変換器を埋め、その出力を最寄りの気象官署にテレメータし、67型地震計と同じように磁気テープに地震記録を収録している。したがって、この地震計は5,000~30,000の倍率で稼動している。

76型地震計観測網が収録するであろう磁気テープ上の地震数は、全67型地震計が収録するそれ以上になるものと推定されたので(市川, 1978)、76型観測網の完成する昭和53(1978)年度に、上記地震記録自動処理装置の処理能力のレベルアップが実施された。

当該装置のレベルアップに伴う関係ソフトウェアの改造も昭和54(1979)年6月までに終了し、67型・76型地震計磁気テープ収録地震記録の多重処理が可能となった。

観測網の整備と地震記録自動処理装置のレベルアップにより、日本国内に発生する規模3以上の地震は、殆んどもれなく検知可能となったばかりでなく、大地震に伴う多数の余震記録も、ハード的・ソフト的には十分処理可能となった。

そこで、本地震記録自動処理システムのハードウェア

ソフトウェアと、その開発過程についてその概要を述べ、昭和45(1970)年から始めた本システム開発のための研究・調査の最終報告としたい。

§ 2. 試験システムの開発

1960年代の終りころから、小・微小地震観測網が日本をはじめ、他の国でも展開されはじめた。その結果、従来のような人力に頼る方法では処理困難なほど多数の地震記録が得られるようになった。このことが、能率的な記録処理法開発の端緒となった。今でこそ、多くの機関でこの種の開発・研究が行なわれ、また、自動あるいは半自動的検測がルーチン的に行なわれるようになったが(渡辺ら(1977)、Allen(1978)、前田(1978)、松村ら(1979))、1960年代末頃は全く未開の分野であった。

そこで、気象研究所は地震予知計画に関連して昭和45(1970)年から67型地震計により磁気テープに収録された記録の自動処理システムの開発を、当時、市販され始めた国産ミニコンピュータ(以下ミニコンと略称)を使用し行うことになった。

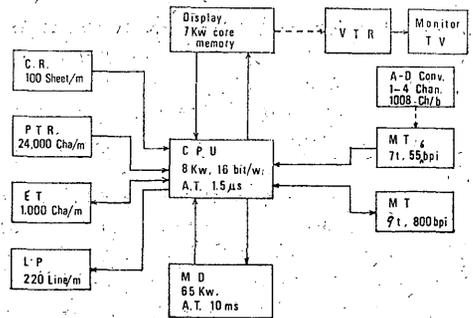


Fig. 1. Block diagram of automatic processing system of seismograms.

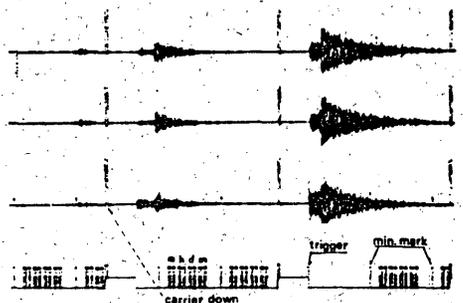


Fig. 2. Earthquake records obtained by a 67 type magnetic tape recording seismograph.

この開発に使ったミニコンは Fig. 1 のような構成の OKITAC 4300 である。現在のミニコンは、かつての大型電子計算機なみ、あるいは、それ以上の性能を持っているが、当時のものはハード的にも、また、ソフト的にもいろいろと制約があり、誠に不便なものであった。

67型地震計は、Fig. 2 に示すように、ある一定以上の振幅をもった信号だけが約3分間、現地官署に設置されているアナログ磁気テープ装置に記録され、10日毎に所属の管区気象台に郵送され半自動解析器を使って人手で検測される仕組みになっていた。

この地震記録収録アナログ磁気テープを電子計算機で処理するためには、まず、計算機が読めるようデジタル化しなければならない。定常的震源要素計算業務における計算精度、自動検測に使用する計算機のメモリ容量、自動検測所要時間などを考え、毎秒約30点の割合いで、原磁気テープをデジタル化することにした。

アナログテープには、各地点の記録が、1記録約3分間分づつ、ぶつぎりに、時間順に収録されているので、これをデジタル化して記録したテープ（以下Dテープと略称）にも、同じような状態で記録が収録されている。このDテープを自動処理するためには、先づ、記録の始まりを検出しなければならない*。

各地点の各地震の一記録ブロック長が、すべて、3分間に統一されていれば、記録ブロックの始まりを検出することは簡単であるが、実際には、各地点のブロック長は2分30秒～3分10秒と幅がある（同一地点でも相当のふらつきがある）。さいわい、各ブロックの始まりには、磁気テープの始動・停止に伴ない発生する大電圧が記録されているので、これで各ブロック間の切れ目を検出できる（以下、この作業を **unpack** と呼ぶ）。

次に4番目のチャンネルに2進化10進符号で収録されている地点番号・発震日時分を解説（以下 **decoding** と呼ぶ）して、検測作業に移る。

当該ミニコンのメモリ容量は16キロバイト（KB）しかない。このうち、約6KBはこのミニコンを動かすために使われるので（いわゆるOS）、検測計算に使用できるメモリは約10KBに過ぎない。このメモリ容量は、約30HzでA-Dした波形データ、処理プログラムと各種パラメータなどを記憶させるためには、余りにも小さ過ぎる。

そこで、上記作業に必要なデータをDテープから逐次入力し、一つの作業が終るとDテープを一定長だけ巻戻して、次の作業に必要なデータをメモリに読出すようにした（現処理装置のメモリ容量はこのミニコンのそれの

十数倍であるが、それでも、約3分間のデータ量は40KB以上になるため、これを一度にメモリに記憶させ得ないので、Dテープ上のデータを小出しにメモリに移しながら **unpack, decoding** 作業を行っている）。

上記各作業に必要なプログラムをすべて、メモリ中に収めておくことも出来ないので、必要に応じてプログラムを磁気ドラムから呼出し作業を行うようにした。ただ、当時のミニコンのOSは非常に簡単なもので、このようなオーバーレー作業は出来なかったので、オーバーレーシステムを自己開発した。

処理プログラムは、最終的にはすべてアセンブラ言語に書直したため、1記録あたり約20秒で処理できるようになった。しかし、地震記録の複雑さのため、100%完全な結果に得られないので、地震記録検測作業を機械化するためには、自動検測結果を短時間でチェックし、不都合な検測値を容易に修正出来るシステムも開発しなければならないと言う結論に達した。

そこで、joystick 付き video display をミニコンに付加し、これで地震波形や検測結果を図示し、画面上に現れたカーソルを joystick で外部から適当な位置に移動させ**、その位置の座標を読取らせて中央処理装置（CPU）に伝達し、不都合な結果を修正出来るようにした。この装置では、約1分30秒の地震記録と検測結果が約20秒で描出され、修正は人間が読取り位置を joystick で指示しボタンを押すと同時に終る。

上記のように記録の自動検測に約20秒、記録と検測結果の display に約20秒かかるので、修正その他の時間を考えると本システムでは記録の処理に約1分は必要である。これに対し、平均的地震活動の場合で67型地震観測網が収録する地震記録数は1旬500～600程度である。また、地震記録のほかに2～3倍の数のノイズ記録も収録しているので、本システムが処理すべき記録数は、一旬3000以下となる。そこで全国の一旬分のデータは、50時間以内で処理できると言うことになる。

本システムに使用した磁気テープ装置のデータ転送速度は毎秒10KBである。上記の **unpack-decoding** 作業

* 67型(76)地震計システムは磁気ドラム（メモリ）を持っており、変換器出力は約30秒間、そこに常時記憶されている。ある値以上の信号が地震計システムに入ると、トリガーがかかり、ドラム（メモリ）に記憶されている記録が磁気テープに転写され、つづいて約2分半の記録が磁気テープに収録される。したがって、各かん詰め記録には、トリガー時点の約30秒前から記録が収録されている。また、各かん詰め記録の間には、磁気テープ始動・停止に伴ない発生する大電圧が収録されている。

** 以下この操作を“joystick で指示し”と書く。

中、入力磁気テープはひんばんに読取り・巻戻しを繰返されるため、これに長時間を費す。したがって、もう少しデータ転送速度の早い磁気テープ装置を使うことにより、検測作業時間ばかりでなく、display 時間も短縮できるであろう。このような結果に基づいて、次に述べる業務用地震記録自動処理装置が気象庁地震課に設置されることになった。

§ 3. 業務用地震記録自動処理装置

3.1. ハードウェア

地震課で現在稼働中の67型・76型地震計記録の自動処理装置の構成図を Fig. 3 に示す。

CPU のメモリ容量は 192KB で、そのうち、32KB を OS に使用し、残りを 74KB, 74KB, 12KB の 3 領域に別け、3 つの仕事が互に空き時間を使いながら実行できるようなシステムになっている。そこで、磁気テープやディスクを殆んど使わない計算の場合は、空き時間が少ないので、優先度の低い仕事の実行は、なかなか進まない。したがって、人間の判断のため空き時間の多くなる検測結果チェック・修正作業と検測作業を組合せると、2 台の display で検測結果チェック・修正作業を実行するなど、仕事を上手に組合せると、非常にうまく計算機は稼働する。

3.2. ユーザーソフトウェア

地震記録自動処理関係のソフトウェアは、ミニコン用に作ったものを改良して作った検測用プログラム、検測結果チェック・修正用プログラム、チェック修正結果を時間順に並びかえて、各データを総合して震源計算し、 P , S の発震時、最大振幅、初動方向などのチェックをするためのプログラム、検測結果の記入されているテープの内容を修正するためのプログラム、59型地震計の検測結果と一緒にして、地震調査原簿を作成し最終震源要素計算を行なうため、検測結果を在来の地震報告コードに変換して磁気テープに記入するためのプログラムや現地官署などに検測結果を還元するための官署別検測表作成プログラム、その他がある。

検測と検測結果チェック修正用プログラムは、処理時間短縮のためアセンブラ言語で書かれているが、他は大部分が FORTRAN 言語で書かれている。

各プログラムは、コジパイル・編集されてシステムディスクの私用ライブラリに収録されている。これらのプログラムを使って計算処理を行う場合は、数枚の当該プログラム呼出し用カードでプログラムをディスクから CPU に移せばよい。これに要する時間は、極く僅かである。

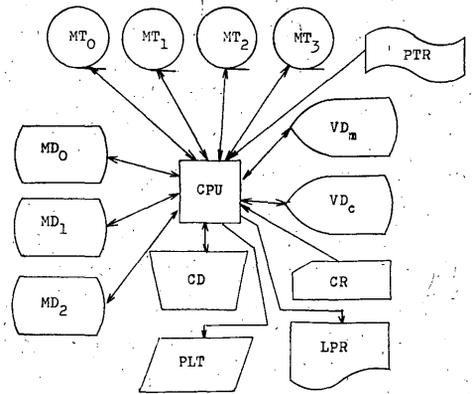


Fig. 3. Block diagram of automatic processing system of seismograms installed at the Seismological Division, J.M.A.

CPU: central processing unit (192 KB), MT: magnetic tape unit (800 BPI, 60 KB/s), MD: magnetic disk unit (15 MB, 312 KB/s), PTR: paper tape reader (500 ch/s), LPR: line printer (600 line/m), CD: console display, PLT: plotter, CR: card reader (750 sh/m), VD_m: monochrome video display (512×512 dots), VD_c: color video display (512×512 dots, 12 colors).

ある。

検測および検測結果チェック修正用プログラム以外は、極く一般的なものであるから、ここでは、この2つのプログラムだけの説明に限ることとする。

§ 4. 地震記録磁気テープ処理手順

67型・76型地震計による磁気テープは、次の手順で地震課で処理されている。

1) 67型地震計テープは10日毎に管区气象台に郵送され、管区气象台の半自動解析装置で編集されて地震課に郵送される。一方、76型地震計テープは、同じく10日毎に地震課に直送される。

2) 前者を現地での記録スピードの16倍の速さで再生し、2KHzで analog-digital (A-D) 変換する(±1000 mV)。後者も同じく現地記録の16倍の速さで再生し A-D 変換するとともに、保存用テープにアナログ記録を転写し、また可視記録も同時に作ってしまう。

3) 2)で作ったテープ(Dテープ)で自動検測する。

4) 自動検測結果を display 装置で、チェック・修正する。その結果は別のテープに出力される(Cテープ)。

5) 3)の作業でもれた地震記録を半自動検測する。

6) 松代の検測結果も一緒にして震源計算し、自動検

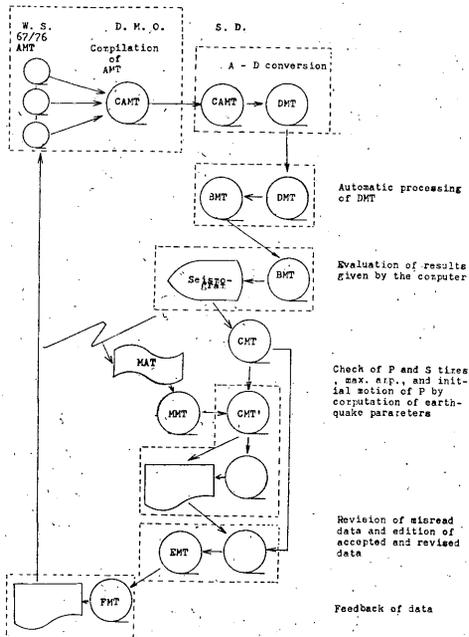


Fig. 4. Flow of processing of analog tape produced by 67 and 76 type seismographs.

W.S.: Weather station, D.M.O.: District Meteorological Observatory, S.D.: Seismological Division, JMA, AMT: analog magnetic tape, CMT: compiled analog magnetic tape, DMT: digitized seismogram magnetic tape, BMT: digital tape on which readings are written, CMT: digital tape on which checked results are written, MAT: Matsushiro data tape, EMT: tape on which feed back data are written.

測結果を再チェックする。

7) 6)の作業で指摘された不都合な験測結果を、原記録を使って再々チェックする。

8) 7)で不都合と判定された結果を再験測し、その結果に基づいて、Cテープの修正を行なう。

9) 定常地震調査業務用磁気テープを作成する。

10) 現地官署へ還元するため、官署別験測表を印刷し、現地官署又は管区气象台に郵送する。

§ 5. 自動験測プログラム

このプログラムは、下記の主なサブルーチンプログラムから構成され、すべて HITAC 8250 アセンブラ言語で書かれている。

1) console display を通して指定された位置まで、

入・出力用テープを空読みしたのち、Dテープ(入力)から地震波形データをCPUに入力し、地震記録ブロックの始まりを検出するためのプログラム。

2) 地点番号・発震日時分解読用プログラム。

3) 地震記録中の直流分を除去し、ノイズレベルを評価し、ノイズと信号の大きさばな分離(67型・76型地震計システムで記録収録開始の指示の出た時点を analog trigger 時点、計算機が検出した信号出現時点を digital trigger 時点と呼ぶことにする)および最大振幅の評価のためのプログラム。

4) P, S, その他顕著な位相の第1近似発現時点を検出するためのプログラム。

5) 第1近似発現時点から、より確かな発現時点を求めるためのプログラム。

次に上記各プログラムの内容を説明する。

5.1 データ入出力・unpack・decoding プログラム。

このプログラムは次のサブルーチンから構成されている。

i) **JOBSTT** 入・出力テープの読・書き開始位置、処理ブロック数等を console display から指示するためのもの。

ii) **CRDSRCH** analog テープ上の1地震記録には約3分間の記録が収録されており、各記録ブロック間には§2で述べたように大電圧のパルス状ノイズが2組つつ入っている。このパルスの間はアナログデータレコーダのキャリアダウンのため、信号は入っていない。このような状態を検出し、記録ブロックの始まりを検出するためのもの。

iii) **CRDOW** ii)で検出した記録ブロックの開始を確認するためのもので、SUBMT, MTSALT, RDERCHK などのサブルーチンが必要である。

iv) **SUBTRG** analog trigger 時点で、地震記録の時間成分の出力は 0v から -1v に電圧が落ちる。データの収録は、trigger 時点から約30秒前にさかのぼって行なわれるから、ii), iii)で検出した記録ブロック開始時点と trigger 時点との時間差から、記録ブロック開始時点を再確認する。また、この trigger 時点は、位相各決定などに使われる重要なデータである。このサブルーチンは、TRIGDWN, SUBMT, RDERCHK などのサブルーチンを必要とする。

v) **TRIGDWN** 上記のサブルーチン SUBTRG 中に使用されているもので、時間成分データから、基準0線(実際にはアナログデータ収録時にレベルが0に調整されていない場合があるので、±200mvの範囲にデー

タが収まっていれば、0線と見做している)を検出し、これから $-1v$ に電圧が落ちる時点を見付ける。さらに、これが **trigger down** であることを確認するために、分マークの検出を試みる(分マークは、 $+1v$ の状態が1秒間以上継続する)。

vi) **DCOD carrier down, trigger down**, 分マークなどの検出により、記録ブロックの始まりを確認したあと、時間成分中にコード化されて入っている観測地点番号、発震日時分を解読するためのもの。これらのコードは **trigger down** 直後の分マークと、次の分マークの間に収められており、分マークは約1秒間、1に相当するコードは $\frac{3}{4}$ 秒、また、0に相当するコードは $\frac{1}{4}$ 秒間 $+1v$ になっている。67型の場合は地点番号、日・時・分とも3ビット+4ビットの構成であるが、76型および67型の若干のものは地点番号が4ビット+4ビットとなっている。

vii) **INPUT carrier down, trigger down** 時点検出のために必要なデータをDテープから入力し、また、検出後は、水平2成分約90秒および上下成分約120秒のデータをCPUのデータ領域に転送するためのもの。この作業には、磁気テープ動作中の空時間を利用した割込み処理方式が採用されている。必要なサブルーチンは、SUBMT, MTSALT, RDERCHK, SUBTRG。

viii) **MTSALT** 入力用・出力用磁気テープ装置の装置番号変更および転送データ数を変更するためのもの。

ix) **RDERCHK** 当該検測プログラムは、能率向上のため、上記のように磁気テープの入・出力実行時に割込みをかけ各種の処理計算を行っている。この割込み計算終了後、磁気テープの入・出力が正常に終了したか否か調べ、異常終了の場合はその状況に応じた処置をとるための指示を与えるためのもの。

次に上記各プログラム中に設定されている **carrier down, trigger down**, タイムマークなど検出のための条件について述べる。

i) **carrier down** 4成分のデータには殆んど同時に連続的に約0.1秒間 $+150mv$ 以上の値が出現し、続いて約4秒の間に $\pm 150mv$ の範囲の値が連続約1秒間現れること。

ii) **trigger down** $\pm 200mv$ の範囲のほぼ一定した値が時間成分にほぼ連続的*に、約20秒間現われる(基準0線の検出)。この状態から $-350mv$ 以下の値が約2秒間以上続*けば、この $-350mv$ 以下に落ちた時点を **trigger** のかかった時点とする。

iii) 分マーク **trigger** がかかると、時間成分の値は

$-1000mv$ に落ちる。この状態から $+1000mv$ 以上の値が約1秒以上続*けば分マークとする。

decoding のための条件は次のようになっている。すなわち、分マークとした所から初めに現れたコード($+1000mv$ 以上の値)までの間隔が 310 ± 10 (約10秒)の間にあるかどうか、2番目のタイムマークとの間隔が 1875 ± 125 の範囲にあるかどうか、またこれらの分マークの間に28本のコードを示す約 $\frac{1}{4}$ 秒あるいは $\frac{3}{4}$ 秒間続く $+1000mv$ のデータがあったか否か。ただし、2番目の分マークが検出されなくても、28本のコードが正しく、すなわち、地点番号は1~84の間の値、日付は、1~35**、時間は0~23、分は0~59の値であれば、これらのコードを採用し、分マーク間の長さは標準値1875とする。また両分マークが検出されたがコードが乱れている場合は、コードをすべて99として、検測作業を実行する。

5.2. 信号開始時点の再検出・ノイズレベルの評価

地震波の到着の検出は、結局のところ、それに先行する人工的あるいは地震波による振動と地震波とを分離することである。そのためには、先行する振動記録の性質をできるだけ正しく評価する必要がある。

ノイズの評価をする前に、数字化波形データ中に含まれている直流成分を先ず除去する必要がある。さらに短周期ノイズを除去し、信号の検出を容易にするため波形を平滑化するとよい(3点移動平均を行っている)。

設定された電圧以上の信号が入力されると、トリガーが働き、30秒前からの記録がテープに収録されるようになってくるが、P波初動付近で **trigger** がかかるとは限らない。そこでトリガー時点を基準にして、ノイズレベルの評価をすると、場合によってはP波の部分を含めてしまうので過大評価してしまう。その結果、目で見ればP波の始まりを検出出来るような場合でも、計算機はその検出に失敗してしまう。

そこで、トリガー時点以前に信号が到着していないか否か調べ、次にノイズレベルの評価を行う。下記のサブルーチンを使ってこのプログラムは書かれている。

i) **PREP** 数字化波形データから直流分を除去するためのもので、記録開始時点から約190点以降トリガー時点までのデータのうち、絶対値が500(単位 mv)以下の値を使って平均値を求める。もし全データがこの

* 条件を満たすデータが連続的にそれまで出現していたが、ある時点で条件に適合しないものが出て、その次のデータが条件を満たしていれば、この不適格のデータは無視する。

** 月の変りにリセットを忘れ、31以上になっていることがときどきある。

値を越える場合は直流成分が大きいと考え、**threshold** を1100として平均値を求め、この平均値で直流成分をまず除去し、さらに **threshold** を500, 300と順次かえて平均値を求め直流値を除去する。

上下動成分記録にはタイムマークが入っている場合もあるので、これを除去しながら直流成分を取除く。

ii) **SHFT** i) で求めた平均値を使って直流値を除去するためのもの。

iii) **TMRK** 上下動成分記録には、タイムマークが入っていることもある。そこでこれを5.1で求めたマーク位置や分マーク間の間隔から、記録上に存在するであろう分マーク位置の見当を付け、その時点より70点前のデータから、順次、前後の値を比べ、その差が70以上になった時点からタイムマークが出現し、再び差が70以上になった時点まで分マークが終ったとする。この2時点間のデータの平均値をタイムマークによるレベルの変化値として、レベルを戻す。

iv) **SBST** ノイズレベルを評価し、**analog trigger** 時点を再検討するためのもの。**carrier down** 付近の記録は、管区气象台での地震記録テープ編集集中に乱れることがあるので、**carrier down** より約6秒後のデータから **trigger down** 時点までのデータを5区間に分け、さらに同じデータ量だけ **trigger down** 以降からも取込んで各区間におけるデータの平均振幅を求める。このようにして求めた平均値からサブルーチン **DSRI** を使ってノイズレベルを評価する。**PKTR**, **NOIS**, **DSRI**, **BACK** などのサブルーチンを必要とする。

v) **NOIS** iv) で述べた各ブロック間の平均振幅を求めるためのもの。

vi) **DSRI** **NOIS** で求めた各ブロックの平均振幅のうち、最初のブロックの値の2.5倍以上のものを除いて平均し、これをこの地震記録直前の平均ノイズレベルとする。さらに、初めブロックの平均振幅の2倍以上の平均振幅を持つブロックが存在するか調べる。該当するブロックが検出されたならば、そのブロック中のどこからか信号が始まっているとして、その始まりの検出を試みる。このようにして検出した信号の始まり時点を、**digital trigger** 時点と呼ぶことにする。サブルーチン **BACK** を必要とする。

vii) **BACK** 時間的に新しい時点から古い時点に戻りながら設定されたレベル以下になる時点の検出を試みる。サブルーチン **ONSET** を必要とする。

viii) **PKTR** 数字化波形記録中に現れる山・谷の位置を検出するためのもの。

ix) **ONSET** 信号到着時点を検出するためのもの。

x) **AMPMAX** 最大振幅と記録継続時間を求めるためのもの。サブルーチン **PKTR** を必要とする。

xi) **RNAV** 短周期ノイズを除去の目的で移動平均を実行するためのもの。現プログラムでは3点移動平均値を求めるようパラメータは設定してある。

上記各サブルーチン中、**BACK**, **ONSET**, **AMPMAX** についてやや詳しく説明する。

BACK 上位のサブルーチンで、位相検出対象区間内に出現した波動の山・谷の位置とその数、および平均振幅(基準値)が与えられており、山・谷の数は11以上あることになっている。このサブルーチンの位相検出の条件は、i) データのうしろの方から前の方に戻りながら、基準値を越える山・谷が5回以上出現した。ii) i) の条件を満たした場合、基準値以下の山・谷の振幅が連続的に7回出現するか、連続する9組の山・谷のうち7組は基準値以上であるがその間に2組の基準値以下の山・谷が存在する。iii) 以上の条件を満たさない場合は、設定した基準値が過大であったとして、この値から2を減じた値を新基準値として上記の条件を満たすものがないか調べる。それでも、位相が検出できない場合、この手続きは新基準値が始めに設定した基準値の $2/3$ 以下になるまで繰返す。この限界に達しても位相が検出できないときは、位相検出をあきらめる。iv) このようにして検出した山あるいは谷の位置を出発点として、サブルーチン **ONSET** を使い山あるいは谷の立合がりの位置を正しく決める。v) P 波発現時を検出しようとしていた場合、iv) の手続きで求めた位相時点が **analog trigger** 時点よりおそい場合、また、**analog trigger** 時点の検討手続きの段階で、求められた **trigger** 時点が **analog trigger** よりおそいような場合は、検出した時点は妥当ではないので採用せずiii) の手続きを経て位相の再検出を試みる。

ONSET 上位サブルーチンで検出した位相発現直後の山又は、谷あるいはそれに続く2つの谷や山のいずれかの振幅が基準ノイズレベルの1.4倍以上であることを確認し(この条件を満たさない場合は、検出した位相は誤りとして上位プログラムに戻る)、i) 位相発現時点をさきむ2つの山(谷)と谷(山)との間隔が11点(約0.3秒)以上の場合、ノイズレベル以下になるところを位相発現時点とする(このような場合、山(谷)が記録の0レベルを切るところ、すなわち振幅が正(負)から負(正)に移る時点を位相の始まりとすると、長周期の脈動や0レベルのドリフトなどの影響で、位相発現時は早

くなり過ぎる), 又は ii) 上記の間隔が10点以下の場合, 0 レベルを切るところを以って位相発現時点とする. このサブルーチンは検出した位相初動振幅とノイズレベルとの比, および位相直前の山又は谷の振幅とノイズレベルとの比も同時に求める.

AMPMAX 最大振幅は analog trigger 時点以降にあるものとし, i) 最大振幅を与える山・谷の間隔は3点以上である(パルス状ノイズを最大振幅として拾わないため), ii)最後のデータまで, 山・谷の振幅がノイズレベル以上の場合, 検出した最大振幅発現時点と最後の山・谷の位置は, 少なくとも8山・谷以上はなれていること, iii) ノイズレベル以下の状態が連続して100回以上つづいたならば, 地震記録は終わったものとする. iv) ii)の条件を満たさない場合は記録は継続中として, 最大振幅は検出しない.

5.3: P・S・X 相発現時点検出

地震記録は発震機構・伝搬途中の媒質・観測点付近の地質構造・地震計の特性その他が関係し複雑なことが多い. パターン認識を不得意とする電子計算機で, 各種各様な地震記録から位相を検出することは容易ではない.

たとえば, パルス状の記録波形が時には観測点直下で発生した地震による場合もあり, 又, 人工的(機械的あるいは電氣的)ノイズの場合もある. 地震記録の検測に多少の経験ある人ならば, 一目でそれが何であるか判断が下せるような単純なものでも, これを完全に識別する実用的ソフトウェアを作ることは, 必ずしも容易ではない. 気象庁における地震観測の一つの目的は, 日本とその周辺の地震活動の定期的監視である.

立体的に地表付近から数百キロメートルの深さまでの範囲に発生する日本付近の地震の震源要素を決めるためには, P波, S波ばかりでなく, 時には ScS の発現時も必要である.

気象庁は, そこで, 伝統的に P, S 波ばかりでなく ScS も検測の対象としている. しかし, P はとにかく, S 波の検出は, 経験豊かな専門家でも困難な場合がしばしばある.

したがって, いかに高級な手法を使っても, 確実に P, S 波を自動検出するプログラムを作ることは出来そうにない. たとえば, 現検測プログラム開発の段階で, Fig. 5 に示すように, P波に先行するノイズを時系列解析し, これを外挿してP波の発現時を検出しようとするプログラムを作り, 多くの地震記録に適用してみたが, 対象のノイズ記録が不規則なことが多く, 処理時間の割りには結果は芳しくなかった. また, S 波検出のため,

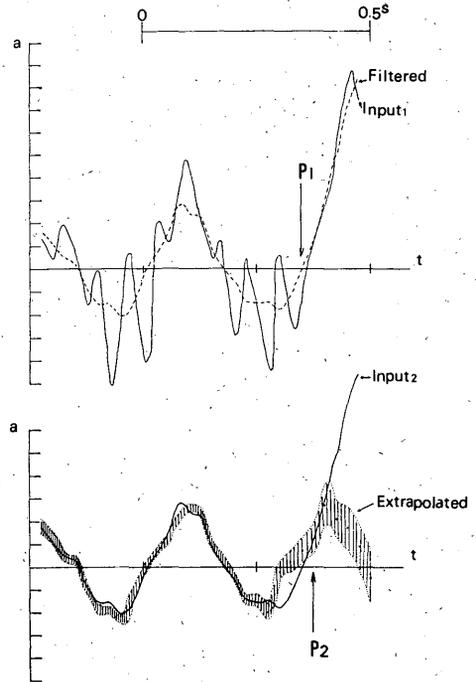


Fig. 5. Pick of a P onset by a method of time series analysis.

Input 1: original seismogram, Input 2: filtered seismogram, P_1 : P onset picked up by the subroutine PHAS, P_2 : P onset revised by the time series analysis.

P波とS波の振動方向の直交性を利用したプログラムを作りテストしてみたが, うまくS相を検出できるような記録は, 他の単純なプログラムでも同様な結果が得られ, むづかしい記録はいずれの場合も不都合な結果しか得られなかった. さらに, 各地の地震計記録が常に3成分完全にとれている保証もないし, 最近の76型地震計の場合は, 水平一成分の記録しか取っていないので, この方法は現業的ではない.

処理時間を短かく, かつ, 検測ミスより少ないソフトウェアの開発をいろいろ試みた結果, 次に述べるプログラムが最終的に採用された.

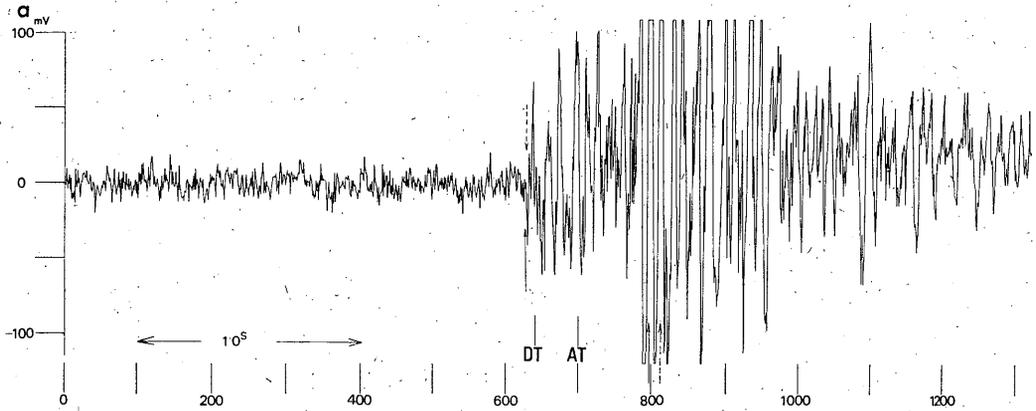
この検測プログラムは, 次のサブルーチンから構成されている.

- i) **PHAS** 入力信号振幅が急増しはじめた時点を検出するためのもの.
- ii) **MERG PHAS** で検出した成分別の位相発現時点をまとめるためのもの.
- iii) **PKUP MERG** でまとめた位相発現時点の度数

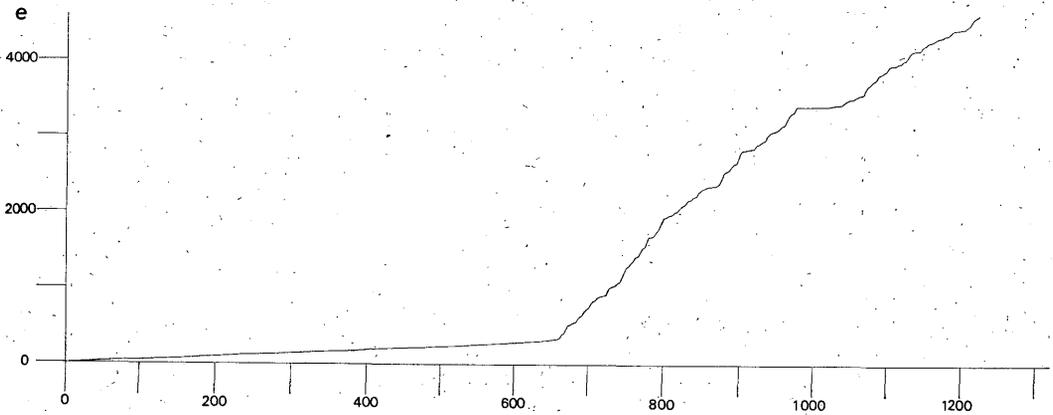
分布を計算し, analog trigger 以前での最大度数に対応する発現時点を *P* 波, analog trigger 以降でのそれを *S* 波, また, 第3のピークに対応する発現時点を *X* 波の発現時点としてそれぞれ採用するためのもの.

iv) OPTM PKUP で選び出した *P*, *S*, *X* に対応する度数分布を発現時点に変換するためのもの.

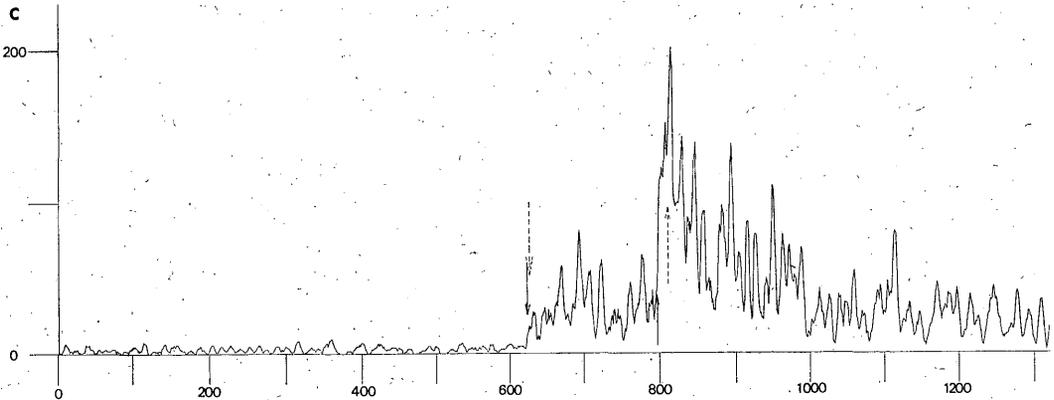
v) AJST OPTM で求めた *P*, *S*, *X* の各発現時点を出発点(第1近似発現時点)として, 第2近似の発現



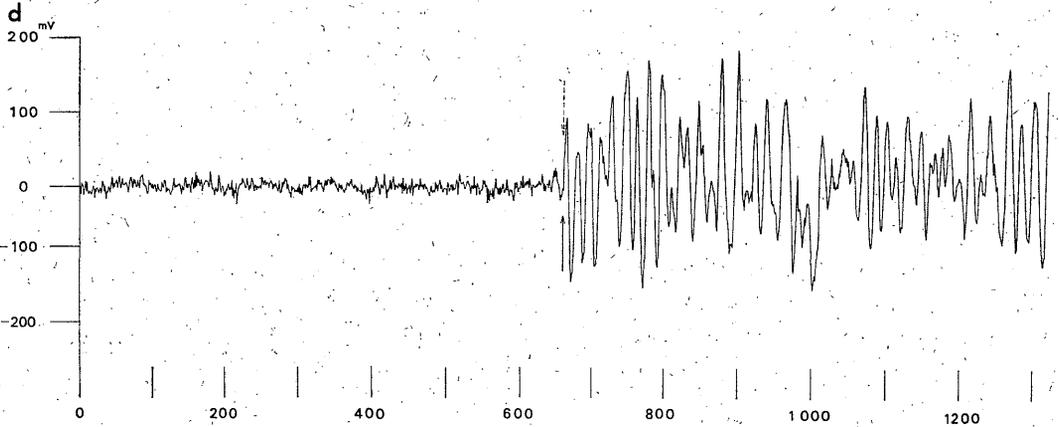
(a) Original seismogram of Z component (00^h03^m, May 17, 1979).



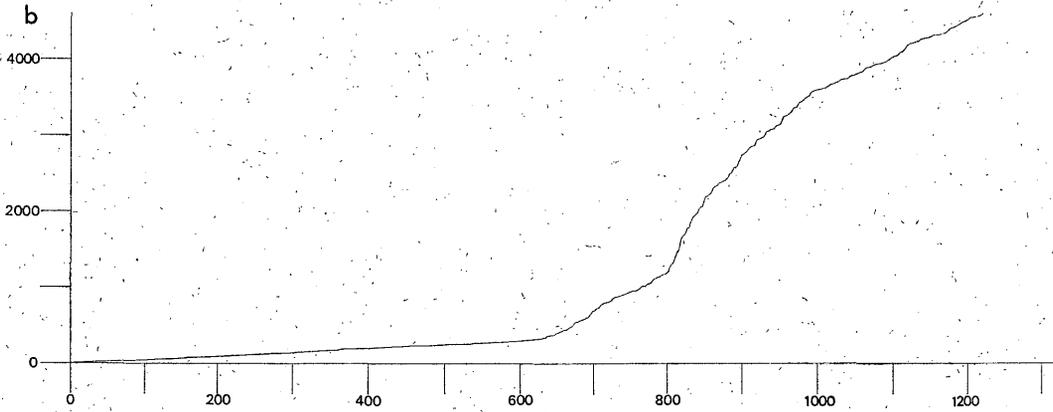
(b) Seismogram produced by the subroutine PHAS.



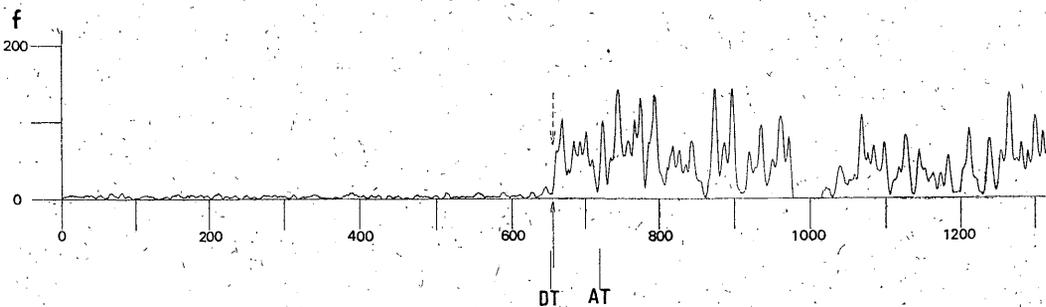
(c) Temporal variation in slope of seismogram shown in Fig. 6 (b).



(d) Original seismogram of Z component (05b20m, May 19, 1979).



(e) Seismogram produced by the subroutine PHAS.



(f) Temporal variation in slope of seismogram shown in Fig. 6 (e).

Fig. 6. Phases picked by the subroutine PHAS.

Arrows in Figs. 6. (c) and (f) are the onset picked up by the subroutine, and arrows by broken line are the onset recognized by an operator.

時点を求めるためのもの、サブルーチンBACK, PKTR, ONSETが必要.

上記各サブルーチンのうち、現験測プログラムの重要

な柱となっている PHAS, MERG, AJST について説明する.

PHAS 各時点の振幅をその記録のノイズレベル (振

幅)で除算し、小数点以下の値を切捨て、絶対値を逐次加算して行く。これにより Fig. 6(a), (d) に示す地震記録が Fig. 6(b), (e) のように単純化される。ノイズレベル以下の状態が続いている間は、積算値は変わらないが、ノイズレベル以上の信号の到着によって、この積算値は急増する。相次ぐ信号の到着によってカーブは、折れ曲がり、その都度傾斜は急になる。傾斜が変わった付近に位相は到着しているはずであるから、この点を見つけるために、ある時点とそれから6時点先の積算値との差(以下傾斜値と呼ぶ)を求める。これによって Fig. 6(c) 又は Fig. 6(f) のような結果が得られる。この傾斜値から次の条件を満たしたものを、位相として採用する。第1相(P波)の場合は、i) 傾斜値が連続10回以上、threshold を越えた。ii) 傾斜値が不連続的に3回 threshold 以下であっても、合計20回以上 threshold 以上の状態が出現した。また、第2(S)、第3(X)相の場合は、上のi), ii) のほかに、第1相あるいは第2相検出中に現れた、最大の傾斜の2倍以上の傾斜値が現れるという条件が加わる。threshold としては、9, 12, 15の3つの値が、逐次、使われる。

MERG PHAS で位相時点を検出する際、threshold は 9, 12, 15 と逐次変える。したがって、検出される位相時点は必ずしも一致しない。成分ごとに検出した位相時点を analog trigger より前の位相時点は P 相、うしろの位相時点は S 又は X 相であると仮定し、それぞれの値が 15 (時間にして約 0.5 秒)、45 (時間にして約 1.5 秒) で区切ったブロックのどこに入るか調べ、各ブロックに属する位相時点数の度数を数える。この際、P 波ば上下成分に、S 波は水平成分で検出し易い点を考慮して、trigger 以前のブロック内に入った上下成分の度数は、水平成分のその 3 倍、trigger 以降に対しては逆に水平成分の度数は上下成分の 3 倍の重みをそれぞれつける。

AJST PHAS, MERG, OPTM, PKUP などのサブルーチンで検出した位相時点の前 175 点目から 150 個のデータ中に現れる山・谷の振幅の平均振幅とその標準偏差を計算し、大きい方をノイズレベルとする。また、山・谷の数からノイズ波動の平均周期を求めておく。まず、サブルーチン BACK で、PHAS により求めた位相時点の修正をする。この際に使用するデータは、PHAS による位相時点から 150 点前から 400 個であり、基準レベルは、直前に求めた新しいノイズレベルが、5mv 未満ならば、その 5 倍、5mv~10mv ならば 4 倍、11mv~30mv ならば 3 倍、それ以上ならば 2.5 倍したものである。

BACK による位相時点の修正*は、時間的に新しいデータから古いデータに逆のぼって位相検出をするという手続きがとられるが、この逆の手続による位相修正**も行なわれる。すなわち、PHAS による位相時点から 50 点前のデータを出発点に、それ以降 300 個のデータを使い、次の条件を満たすものを位相時点とする。すなわち、i) BACK の時に使ったノイズレベルを越す山・谷の振幅を見付ける。ii) この際、一組の山・谷のうち初めの山あるいは谷の振幅は新しいノイズレベル以上であること。iii) i), ii) を満たす山・谷が検出されてから連続的に 4 回以上基準レベル以上の山・谷が出現するか、2 回の基準以下の山・谷を含め 6 回以上、基準レベル以上の山・谷が出現した場合。

これら 2 方法によって修正された位相時点が一致しない場合は、周期も考慮して位相検出を試みる。すなわち、新ノイズレベル算出の際に求めた平均周期で基準レベルを割った値、すなわち、ノイズの平均 particle 速度と山・谷の振幅とその周期から求めた particle 速度を比較し、上記の条件で位相時点の修正***を行なう。

3 つの位相時点のうち一致するものがあれば、これを

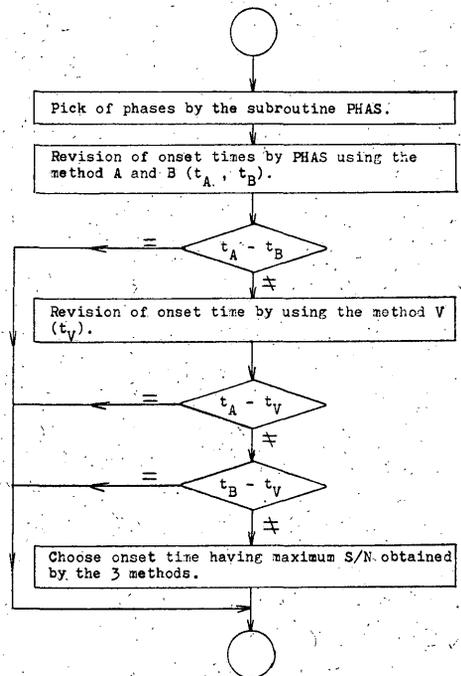


Fig. 7. Flow chart of a phase arrival pick.

- * かりに B 法と呼ぶ
- ** かりに A 法と呼ぶ
- *** かりに V 法と呼ぶ

Tab. 1. Numbers of events for which discrepancies in P arrival times picked up by the present program and read by an operator are within ± 0.1 s (=) and over ± 0.1 s (\times). A, B and V are the results given by the method A, B and V, respectively. A+B, A+V and B+V indicate that the results given by the methods A and B, A and V, and B and V are compared with those given by an operator. A+B+V indicates the results given by the methods A, B and V are compared with those given by the operator.

	A	B	V	A+B	A+V	B+V	A+B+V
=	135	134	103	122	103	128	133
\times	67	70	101	82	101	76	71

修正位相時点として採用するが、三者が一致しない場合は、それぞれの方法で位相時点を求めたとき同時に計算した S/N 比を比較し、その一番大きなものを修正位相時点として採用する (Fig. 7)。3 方法による修正位相時点の一致、不一致の状況の 1 例を Tab. 1 に示す。

5.4. 位相名の確認

上記の手続きで検出した位相名が妥当が否か、次の基準で確める。

P 相

i) 検出した P 時点は analog trigger 時点以前にあること。この条件を満たさず、かつ、 X 相が検出されていない場合は digital trigger 時点を X 相として採用する。ii) P 波が検出されないが、 X 相がある場合、それが digital trigger 時点の ± 15 (時間にして約 0.5 秒) の範囲に入っていれば、これを P 相として採用する。

S 相

i) analog trigger 時点以降にあること。ii) X , S 相が共に検出されている場合、共に analog trigger 時点以降にあり、かつ、 X 相が S 相よりも 100 点以上 (時間にして約 3 秒) 以上おそい場合は、 X と S の相名を互替える。iii) S 相が上下成分から検出され、かつ、analog trigger 時点より早い場合は不採用とする。

§ 6. 震震結果のチェック・修正

前記のように図形認識を不得意とする電子計算機で、複雑な地震記録中の諸相を人間程度の確かさで検出することは極めて困難である。したがって、電子計算機による地震記録検測業務のルーチン化の成否は、自動検測結果のチェックと修正が容易に行えるシステムの開発にかかって来る。

本自動検測装置に付加したチェック・修正用装置は、テスト用検測装置開発の際の経験に基づいて作られたもので、縦・横とも 512 ドット、データ転送速度は 1 ドットあたり $10\mu\text{s}$ 、カーソル joystick 装置付きの蓄積型 video display を使用したものである。波形データや検測結果の記入されている磁気テープ上のデータを CPU に読込む際の空き時間を利用して、地震波形データ座標の変換を行なうことにより、地震波形・検測結果などを数秒以内で図示することが出来るし、また、joystick を介しての人間の判断結果の CPU への伝達も、瞬時に実行される。

次に、この検測結果チェック・修正用装置のプログラム・作業手順について述べる。

6.1. プログラムの構成

本プログラムは、検測結果のチェック・修正のほか、D テープから任意の地震記録を引き出して図示し、joystick を介して各相の検測が出来るようになっている。このプログラムは、次のサブルーチンから構成されており、これらはすべて Assembler 言語で書かれている。

i) **JOBSTT** console display を介して入出力磁気テープの読出し、および書込み位置を指示するもので、サブルーチン SUBMT を必要とする。

ii) **INPUT JOBSTT** からの指示に従がい、入力用地震波形データ・検測結果記入テープと、チェック済み検測結果出力用テープを所定の位置まで空読みしてから、display に必要なデータを CPU に送り込む。入力テープ上に end mark を検出した場合は、作業を終了させ、出力テープに end mark を記入して、両テープを巻戻す。SUBEND, SUBMT のサブルーチンが必要。

iii) **SISMG** 入力テープからの波形データから display 用に座標変換し、これを画示するためのもので、VANDSP を必要とする。

iv) **MARK** 検出した位相時点を斜線で示したり、最大振幅発現時点、digital trigger 時点、時間軸、200 mv 相当の振幅参考線などを、SISMG で display された地震記録上にプロットするためのもので、VANDSP を必要とする。

v) **CONTRL** スクリーン下部にオペレータに作業手順の指示を与えたり、問合せたりするためのメニューを display し、オペレータの指示により検測結果を修正あるいは、採用するなどの処理を実行に移す準備をするためのものであり、VANDSP, SUBEND, SCRPN, PNTNO, SUBRRD, CONAMP, SUBMT, MAXRRD, SUBJRD などのサブルーチンを必要とする。

vi) **OUTARG** チェック済みの験測結果を、その型式を整えて出力用テープに記入するためのもので、DATE, SUBMT が必要。

vii) **DATE** 位相の発現時は、記録データの始まりからの点数で与えられている。これをタイムマークを基準にし、2タイムマーク間の点数から、当該位相の絶対発現時間に換算するためのもの。

viii) **SUBRRD** オペレータの指示により、自動験測結果を修正、追加、削除するためのもの。修正の際、験測しやすくするため、オペレータの指示で特定の成分を拡大・引伸ばすことが出来る。発現時ばかりでなく、最大振幅の修正も可能である。VANDSP, SISMG, MARK, DSJOB が必要。

ix) **MAXRRD** オペレータの指示した位置を中心に、前後それぞれ100点(約3秒)中にある最大振幅とその周期を験測するためのもので、PNTNO, PKTR, SCRPLT が必要。

x) **SUBJRD** 自動験測結果から、オペレータの指示により、適当なものをP, S又はX相として採用するためのもの。

xi) **SUBMT** 磁気テープ入出力関係のプログラム。0~7のオペレーションコードで、読み、書き、空読み、テープマーク記入その他の動作を実行する。

xii) **VANDSP** 0~8のコードを与えることにより、初期状態セット、画面消去、joystick モニタリセット、点プロット、その他 display 関係の諸動作が実行される (color display の場合は色指定コードが必要)。

xiii) **CONAMP** P波初動方向、振幅、周期の験測を実行するためのもので、P波発震時点の確認・修正指示が出たあとで実行される。

xiv) **DSJOB** Display 画面上に各種のメニューを描出すためのもの、VANDSP が必要。

xv) **PKTR** 指定された区間内の波形データから、山と谷の位置を検出するためのもの。

xvi) **RNAV** 単周期雑微動除去のため点移動平均を実行するためのもの。

xvii) **PICKUP** Dテープから任意の地震記録を引出し display するためのもので、これに必要なパラメータは、対話型式で作出す。SCRPLT, CHARD, SUBMT, SUBEND, CONSKP, DSJOB, VANDSP, SISMG, PNTNO, RNAV, PKTR, MAXRRD が必要。

xviii) **PNTNO** display 画面下部に現れるメニューの中から、実行する作業を選び出すため、希望するもの

を joystick で指示する。指示された点の座標位置から仕事名を判別するためのもの。VANDSP が必要。

xix) **SCRPLT** メニューを display するためのもの。VANDSP が必要。

xx) **CHARD** display された数字の配列のなかから必要な数字を、joystick を介して選び出すためのもので key board の代りをする。VANDSP が必要。

xxi) **CONSKP** 入出力テープをセットした位置から、読出しあるいは書込み位置まで進めるためのもので SCRPLT, CHARG, VANDSP, DSJOB, PNTNO, SUBMT が必要。

6.2. 験測結果チェック・修正作業手順

験測結果チェック・修正作業と自動験測もれ記録の半自動験測作業は、ある段階からは同じとなるので、一つのプログラムにまとめられている。そこで、磁気ディスクから CPU にプログラムを呼出し、入出力テープの読出し、書込み位置を指示する。指示に応じた動作が終了した時点で、上記2作業のうちの何れを実行するか問合せが出る。まず、チェック・修正作業を指示した場合の作業手順を説明する。

入力テープの内容が CPU に転送し終ると数秒以内に Fig. 8 に示すような地震波形、験測結果などが display される。この図で上2本の記録は N-S 成分、中2本は E-W 成分、また次の2本は上下成分記録で、若し P 波

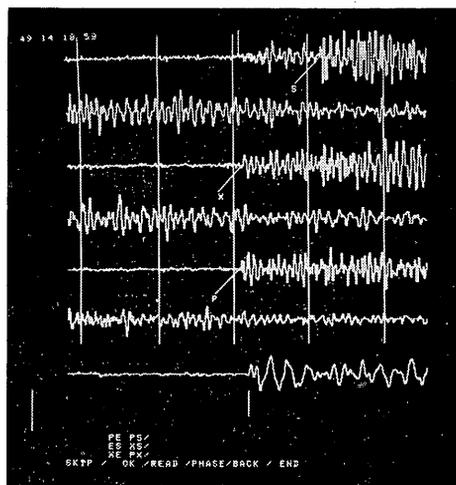


Fig. 8. An example of phase points picked by the computer.

N-S component: upper two lines, E-W component: middle two lines, U-D component: lower two lines, the bottom one line: U-D component record expanded around P arrival.

が検出された場合は図のように一番下に、時間軸は3倍、振幅は2倍にそれぞれ拡大したP付近の記録が display される。

上6本の記録は、それぞれ42秒のものであるから、水平2成分上下成分とも84秒間のデータが display されていることになる。図中の斜線の最上端が自動検測された時点である。最上部記録の上に出ている垂直な線は、digital trigger 時点を示し、又、左すみに出ている垂直線はその長さが 200mv に相当することを示す。

このような記録が display されると殆んど同時に、次のメニューが display される。

PE PS

ES XS

XE PX

SKIP/OK/READ/TA AU/BACK/END/COND

display された地震波形と自動検測結果から、上記のメニューのなかの何れを指示するか、オペレータが判断

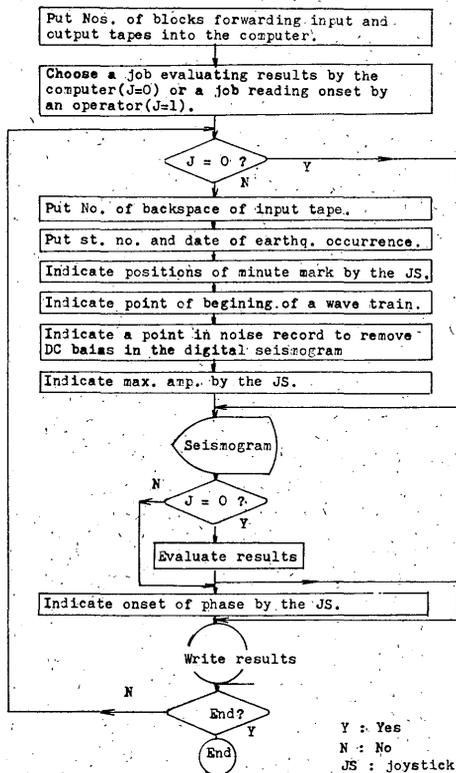


Fig. 9. Flow of job for inspecting and revising arrival times and maximum amplitudes given by the computer using a video display.

する。

上記各記号に対応する仕事の内容は、次のとおりである。

SKIP display された記録が地震でない場合、ここを指示すると自動検測結果は不採用となり、画面は全面消去され、次の記録と自動検測結果、メニューが display される。

PE PS 自動検測された結果がそのまま、あるいは **EX XS** その一部が採用できる場合、ここを指示す

XE PX る。たとえばPEのところを joystick で指示するとPだけを、PSはP,S共、EXはXをSとして採用し、他は不採用、XSはXをPとし、Sはそのまま、また、自動検測されたPは不採用、XEはXをPとし、その他はすべて不採用は、PXはP採用、XをSとし、自動検測Sは不採用となる。

READ 自動検測されてP、又はS、あるいは共に不適当で修正したい場合、joystickでここを指示する。これを指示するとii)に示すメニューが display されるので、そのうちの適当なものを指示して位相発現時の修正を行なう。

BACK すでに display された記録を、再び display したい場合、ここを指示する。指示が終ると何記録前の記録を見たいか問合せが来るので、適当な数をメニュー上の数字で指示する。一回の指示で最高4記録前までしかのぼれる。これ以上前の記録を見たい場合は、BACKを再度指示すればよい。入力テープの巻戻し指示が終ると出力テープの巻戻し数指示要求が出るので、適当な値を、メニュー上の数字を joystick で指示することにより、巻戻しが実行される。

TA AU 最大動と位相あるいは最大動の修正をしたい場合、ここを指示する。ただし、最大動だけを修正したい場合は、この文字列並びの一行上の位置にカーソルを置いて、joystickを働かせる。いずれにしても、最大動の修正作業を初めに実行し、必要あれば、発現時の修正作業に入る。位相発現時の修正は、READの場合と同じ手順で実行する。

END 検測結果チェック修正作業の終了をCPUの伝達する。ここを joystick で指示することにより、出力テープに end mark が記入され、入・出力テープの巻戻し作業が実行される。

COND display された記録が大きすぎてS波のチェックがしにくい場合、ここを指示すると振幅が半分には小さされて、記録が再度 display される。200mv 参考直線が3点すなわち、画面上の単位長の電圧が70mv とな

るまで、記録の縮小が可能である。

color display の場合は、このほか SUP/NE/EZ/EZ という文字列が出る。NE を指定すると N-S 成分記録と E-W 成分記録が色違いで重ね合せられる。NZ は N-S と Z 成分記録が、また、EZ は E-W 成分と Z 成分、がそれぞれ重さなる。P あるいは S 相の立合がりを互に比べ、より確かな位相を指示するために使用する。

ii) READ を指示すると次のメニューが display される。

ENLARGE N E Z/NO (/SUP/NE/NZ/EZ)

記録を拡大して検測したい場合、N, E, Z の上にカーソルを joystick で移し、指示することにより、指示した文字に対応する成分の記録が 84 秒 (水平成分) あるいは 126 秒 (上下成分) だけ振幅を拡大し、かつ、時間軸も 3 倍に引伸して display される。

iii) ii) の指示が終ると、再検測すべき位相名指示を要求する次のメニューが display される。

P/S/PS/X/PE/SE/XS/XM/PM/PX/PSM

joystick で指示した位相発現時点に、上のメニューで指示した位相名が与えられる。P 又は S 1 文字の領域を指示すると、検測したい位相は P 又は S であり、自動検測した S 又は P はそのまま採用される。X の領域を指示した場合は再検測結果を X とし、他は不採用、PE, SE は再検測結果を P 又は S とし、自動検測結果は不採用、PX, XS は 2 相再検測し、初めに検測した結果を P 又は X とし、次に検測した結果を X 又は S とする。PM, XM, PSM はそれぞれ再検測結果を P, X 又は P, S として採用し、最大動はすべて不採用とする。

iv) 位相・最大振幅の確認あるいは再検測作業が終ると位相の立合がり状況を示す記号、すなわち、 i, e などの指示要求が出るので、次のメニュー中の文字列から適当なものを joystick で指示する。

I+I/I+E/I+B/E+I/E+E/E+B/B+I/B+E/B+B

たとえば I+I の領域を joystick で指示すると検測された P と S が iP, iS となる。また E+B を指示すると iP, S となる。ただし、位相名が X の場合は、 i, e は付かない。

6.3. 自動検測もれ地震記録の検測

carrier down をはさむ 2 つのバルス状のノイズの鈍化、記録ブロック長が基準値 3 分間よりはるかに短かかったり、タイムマークが欠除しているなどの理由で unpack できなかった場合、あるいは同じ記録ブロック内に複数の地震記録が存在する場合など、読み落し記録を再検測する必要がある。これがためには、D テープ上

の波形データを display する必要がある。前記のように PICKUP というサブルーチンは、このためのものである。記録が出れば、あとは 6.2 で述べた手順で検測が実行できる。次に、記録を display までの手順を述べる。

i) 再検測を指示すると、

ASSIGN MTI BACKSPACE NO./HOLD/END

のメニューが display される。入力 D テープを適当な位置まで巻戻したい場合は、ASSIGN...NO. の領域を、同一記録ブロック中の複数の記録があり、引続いてこれらの記録を検測したい場合、HOLD の領域を joystick で指示する。また、検測作業が終了した場合は、END の領域を指示する。

検測作業開始の時点では入力テープを巻戻す必要はないが、ASSIGN...NO. の領域を指示し、引続いて display された 0~9 の数字配列から 3 けたの数値を joystick を使って作り出し、CPU に巻戻しブロック数を伝える (color display の場合は key board から入れる) (もちろん、作業を開始するときは 000 を CPU に与える)。

ii) 巻戻しブロック数を指示すると、

ASSIGN ST. NO. AND DATE のメッセージが display されるので、検測対象の記録の地点番号、発震日時分を、joystick あるいは key board から、CPU に与える。CPU に与えられた数値は、スクリーンの上部に display されるので、正しく数値が CPU に伝えられたか確かめる。

iii) 地点番号などの key in が終ると、入力テープから CPU に呼出されたデータに基づき、時間成分の記録が display される。この記録には、地点番号などのコード化符号が入っているので、検測対象の記録が CPU に入ったか否かをこの符号から確かめる。また、時間成分記録が display されると同時に、ASSIGN-TIME MARKS のメッセージが display されるので、joystick を使ってタイムマークの位置を指示する。この作業が終ると GO //// RETRY というメッセージが display される。これまでの操作に誤りがあって、不都合な記録が出たような場合は、RETRY の領域を joystick で指示すると、i) に戻り作業をやり直す。すべてが順調ならば GO の領域を joystick で指示すると、自動検測結果チェックの時と同じ配列で地震記録が display される。全記録が display されると、再び GO //// RETRY が display される。もし、display された記録が小さすぎる場合は RETRY を指示すると、記録振幅は 2 倍に拡大される。この操作は最高 4 回繰返せる。

vi) 最大動出現位置が検測できる程度の大きさに記

録が display されていたならば, GO を指示すると, **ASSIGN THE FIRST PHASE POINT ON N-S COMP.** というメッセージが display される. そこで, 最上段の N-S 成分記録上で記録の始まったと思える位置を joystick で指示する. これは, analog trigger 時点に相当するデータとなる.

v) 次に, **ASSIGN START POINT FOR LEVEL ADJ. ON N-S COMP.** というメッセージが display される. これは, 各成分の記録データ中の直流値除去の計算を実行する範囲を与えるためのものである. そこで, iv) で指示した位置より左側の位置を指示する.

vi) v) の操作が終ると 3 成分の記録について除去すべき直流値が計算され, 同時に全データから直流値が差引かれ, **ASSIGN MAX. AMP. FROM TOP TO BOTTOM** というメッセージが display される. そこで最大振幅が出現していると思える位置を記録の上段から N-S, E-W, U-D の順に指示する. 指示された位置を中心に, 前後それぞれ約 3 秒間中に現れた最大振幅と対応する周期が検出される. 前記の最大振幅としての条件を満たすものが検出されない場合は, **MISOPERATION, TRY AGAIN** というメッセージが出るので, 位置を変えて最大動検出を試みる. この操作は一成分について 3 回許される. 3 回繰返してもだめな場合は, その成分の最大振幅を 30mv と仮定し, 次に進む.

vii) 以上の各操作で, 自動検測の場合に求められる各種パラメータが準備されるので, 検測結果チェック,

修正作業時と同じ地震記録が display される. したがって 6.2 で述べた手順で位相発現時の検測を行えばよい.

§ 7. 検測結果の出力

7.1. 自動検測結果の出力

§ 4. で述べた手順で処理された結果は, 磁気テープに出力されると同時に, ラインプリンタにも出力される. Fig. 10 にその 1 例を示す.

検測結果は 1 地震それぞれ 2 行からなり, 1 行目の DCOD に続く 4 群の数値は, 地点番号と発震日時分 (decoding 出来なかった場合は 99 とする), 次に analog trigger 時点数, およびそれが出現した D テープ上の通しブロック番号 (これは 6.3 で述べた検測もれ記録の display の際に参考資料として使用), ZSFT に続く 3 桁の 3 桁の数字は N-S, E-W, U-D 成分のなまデータ中の直流成分値 (絶対値で, 単位は mv), NOIS に続く 3 桁の数値は, それぞれ, 分マーク位置の時点数 (1000 を差引いてある), 2 つの分マーク間の点数 (1000 を差引いてある, 1875 が標準値), digital trigger 時点数, analog trigger 時点数, 処理記録通し番号 (= 出力磁気テープ中のデータ番号), および N-S, E-W, U-D 成分の平均ノイズレベル値 (単位 mv) である.

2 行目の数値は検測結果を示し, はじめの組の 2 桁の数値は, P 波発現時およびそれを検出した記録成分 (1: N-S 成分, 2: E-W 成分, 3: U-D 成分), 次の 4 組は X 相, 最後のものは S 相に対するものである.

```
DCOD 03 01 10 25 00570 01758 ZSFT 007 023 012 NOIS 637 894 570 570 078 020 017 00/
FINA 10 24 56.2 5 10 25 99.9 9 10 25 99.9 9

DCOD 03 02 08 01 00520 01802 ZSFT 004 015 019 NOIS 540 894 509 520 079 021 016 008
DCOD 03 02 10 42 00528 01846 ZSFT 007 018 009 NOIS 886 894 528 528 079 006 007 00/
FINA 10 41 48.4 5 10 42 00.9 2 10 41 53.0 1

DCOD 03 02 10 54 00505 01890 ZSFT 008 019 008 NOIS 085 895 505 505 080 021 016 008
FINA 10 53 41.3 5 10 54 99.9 9 10 54 99.9 9

DCOD 03 02 15 31 00550 01935 ZSFT 012 022 004 NOIS 446 892 539 550 081 007 006 005
FINA 15 30 28.4 5 15 30 31.3 5 15 30 31.0 2

DCOD 03 02 15 54 00540 01977 ZSFT 014 024 002 NOIS 186 895 540 540 082 020 017 010
FINA 15 53 38.4 5 15 54 99.9 9 15 53 40.2 2

DCOD 03 02 19 58 00527 02021 ZSFT 009 018 007 NOIS 767 894 527 527 083 007 006 00/
FINA 19 58 99.9 9 19 57 26.0 2 19 57 44.1 2

DCOD 03 02 23 35 00606 02064 ZSFT 010 020 006 NOIS 938 895 492 606 084 013 010 008
FINA 23 34 14.2 5 23 35 99.9 9 23 35 99.9 9

DCOD 03 03 00 08 00593 02108 ZSFT 010 019 006 NOIS 637 896 589 593 085 006 006 00/
FINA 00 07 25.3 5 00 08 99.9 9 00 07 29.0 1

DCOD 03 03 01 03 00548 02152 ZSFT 013 021 004 NOIS 225 894 548 548 086 005 006 008
FINA 01 02 06.5 5 01 02 15.9 1 01 02 12.1 1
```

Fig. 10. An example of output of the automatic processing system for seismograms.

65	2	13	45	5.7	3	2	13	45	21.5	9	4	256	9999	99	58	446	-1	864	-1	1280	-1	800	11	12	10
65	2	14	36	20.1	3	2	14	36	35.2	9	12	448	16	960	-13	448	-1	736	-1	736	-1	1472	12	13	12
65	2	18	45	49.5	3	2	18	46	37.322		-11	704	9	1088	-41	768	262	672	317	1120	198	1088	15	12	17
65	3	0	5	42.6	3	3	0	6	8.0	2	5	128	3	512	32	192	60	608	58	320	35	352	10	15	15
65	3	7	37	49.9	0	3	7	37	50.2	9	0	0	0	512	32	192	65	280	72	384	97	320	12	15	11
65	3	18	12	31.413		3	18	12	37.9	1	-3	64	13	64	-88	160	187	320	259	224	174	288	6	7	6
65	3	21	0	59.1	2	3	21	1	6.1	1	-60	192	39	192	-47	256	250	544	281	544	262	1024	5	7	6
65	4	7	46	13.0	3	4	7	48	20.4	1	8	160	13	192	14	128	59	320	50	416	44	416	12	11	11
65	4	16	36	14.1	3	4	16	36	19.6	2	-7	128	-7	256	9999	99	15	416	23	224	27	160	5	6	6
65	5	13	40	18.613		5	13	40	43.9	2	9999	99	-22	288	-44	192	45	832	70	768	65	832	8	8	11
65	6	1	7	49.5	3	6	1	8	10.2	2	9999	99	9999	99	9999	99	54	544	47	544	42	192	10	8	11
65	6	1	8	1.923		6	1	8	21.822		-7	192	-16	384	12	192	43	544	35	576	40	320	10	8	11
65	6	7	20	13.613		6	7	20	29.111		5	128	55	128	-137	128	294	384	176	416	189	288	7	8	18
65	6	9	52	12.913		6	9	52	27.5	1	50	192	-57	128	155	128	126	480	103	288	228	384	10	7	8
65	7	4	59	27.7	3	7	5	0	9.7	2	14	448	9999	99	-17	192	371	576	311	608	235	640	8	10	10
65	7	16	45	18.723		7	16	43	39.422		9999	99	9999	99	9999	99	21	320	23	320	28	448	11	11	11
65	8	1	21	0.123		8	1	21	7.7	9	8	320	-12	704	-90	2304	-1	896	-1	768	-1	2272	10	8	8
65	8	2	35	36.5	0	8	2	35	29.3	1	0	0	0	704	-90	2304	52	544	49	512	52	384	17	16	16
65	8	14	0	7.8	3	8	14	0	37.3	1	24	384	5	640	-46	192	261	800	247	672	193	1056	8	8	11
65	8	14	5	39.1	3	8	14	6	7.8	1	-7	512	9999	99	-17	128	117	608	100	672	62	480	15	11	18
65	8	14	4	4.9	0	8	14	21	11.7	2	0	0	0	59	-17	128	114	672	85	800	84	640	18	21	26
65	8	22	4	6.8	3	99	99	99	99	9	9999	99	9	160	29	640	-1	512	-1	480	-1	608	11	12	11
65	9	11	7	20.3	3	99	99	99	99	9	5	320	20	384	12	768	-1	960	-1	640	-1	736	10	10	8
65	10	14	31	32.0	3	10	14	37	4.1	2	-11	128	9999	99	26	960	46	928	59	864	45	544	15	21	20
65	10	26	42	25.0	0	99	99	99	99	9	0	0	0	69	26	960	59	1568	40	896	50	928	17	21	25
40	1	15	29	47.9	0	1	15	30	4.7	9	0	0	0	99	9999	99	72	928	54	1024	66	800	12	12	17
40	2	13	45	16.3	5	2	13	45	22.1	9	2	384	-6	896	-43	320	-1	704	-1	1184	-1	736	10	8	10
40	2	14	30	5.8	3	2	14	30	17.8	9	9999	99	-16	384	-24	320	-1	960	-1	928	-1	1024	10	10	11
40	2	16	45	21.4	3	2	16	45	38.222		-7	128	9999	99	-29	320	507	416	492	736	437	928	8	8	11

Fig. 11. An example of print out of results produced by the automatic processing system for seismograms.

LIST OF DATA TO BE REREAD

ST. NAME KAKI ST. NO. 17

P DIRECTION SHOULD BE +-+/-+- SEQUENTIAL DATA NO.= 8
 CHECK MZ -1.5 SEQUENTIAL DATA NO.= 19
 CHECK P 119.5 SEQUENTIAL DATA NO.= 42

ST. NAME SAPP ST. NO. 31

CHECK P 192.1 SEQUENTIAL DATA NO.= 37

LIST OF DATA TO BE REREAD

ST. NO.= 35	ST. NAME=SUTT	CHECK S	-162.3	DATA NO.= 16
ST. NO.= 17	ST. NAME=KAKI	CHECK MZ	-1.5	DATA NO.= 19
ST. NO.= 56	ST. NAME=HAKO	CHECK S	-135.5	DATA NO.= 20
ST. NO.= 31	ST. NAME=SAPP	CHECK P	192.1	DATA NO.= 37
ST. NO.= 63	ST. NAME=HUNJ	CHECK P	149.7	DATA NO.= 39
ST. NO.= 39	ST. NAME=ISHI	CHECK MH	0.9	DATA NO.= 40
ST. NO.= 17	ST. NAME=KAKI	CHECK P	119.5	DATA NO.= 42
ST. NO.= 8	ST. NAME=MATS	CHECK P	105.9	DATA NO.= 43
ST. NO.= 8	ST. NAME=MATS	CHECK S	705.3	DATA NO.= 43

Fig. 12. An example of output of data misread by the automatic processing system, which are given by comparison of theoretical arrival times and amplitudes calculated by the earthquake parameters and those picked by the system.

7.2. 自動検測チェック・修正結果の出力

display を使ってチェックされた自動検測結果は、磁気テープに出力される。このテープには Fig. 11 に示す内容のものが記入されている。すなわち、観測地点番号

P (又は X) の発現時と相の立合がりの明瞭度を示す数 (i の場合は 1, e の場合は 2, たゞの P 又は S の場合は blank) と検出に使用した記録成分 (7.1 の場合と同じ) (この 2 つの 1 桁の数をまとめて 2 桁の数値にして

ある。ただし9は自動検測結果を不採用としたことを意味する。次の5組の数はS(又はX)相に対するものである。これに続く6組の数値はP波初動方向(+はN, E, U, -はS, W, D)と振幅*(単位mv)と対応する周期(単位ms)であり9999, 99は検測できなかった事を意味する。次の6組の数値は最大振幅*(単位mv)とその周期(単位ms)で、負の値はP~Sが1分以上か、あるいは記録継続中で最大動を検出することが不適当であることなどを意味する。最後の3組の数値は各成分の平均ノイズレベル値(単位mv)である。

7.3. 震源計算による検測結果の再チェック出力

上記のように自動検測結果はdisplayでチェックされるが、これを時間順に並べ変え、同一地震について3か所以上で検測結果(P, Sの発震時が合計4つ以上)が得られている場合は、震源計算を行って、発震時ばかりでなく最大振幅、初動方向のチェックをも行なう。その結果チェックにかかった検測値は、Fig. 12のFormatで出力される。このリストに基づいて、再度検測結果のチェックを行なう。

§ 8. ま と め

§ 5. で述べたように、現自動検測プログラムではP波付近でanalog triggerのかかった記録でも、現在の震源要素計算結果の精度から見れば気にする程のことでないものを含め、約3分の1は修正を必要とする。現観測指針によれば立上りの不明瞭でePとなるものは、秒の十分の1位は報告しないで良いことになっている。検測結果を秒の単位に止めるのならば、ePなどの場合はそれほど神経質に修正する必要は無いのであるが、display画面上で1~2点(0.1秒以下)程度の修正もしているのが実情である。

S波でanalog triggerのかかった記録が多い。現検測プログラムでは、前にさかのぼってP波を検出しようとしているが、なかなか思うような結果は出ていない。また、このような場合、S相をP相としてしまうことが多い。

このようなわけで、P, Sとも自動検測結果がそのまま採用できる場合は、ノイズレベルの高い67型では全体の2分の1程度、ノイズレベルの低い76型でも小さな規模の地震をかなり多く収録しているので、全体的な歩留りはそれほど向上していない。

昭和54年1月上旬に収録した約900の記録について、

* N-S, E-W, U-Dの順で、還元資料・データ処理係用テープ作成の際、速度振幅(mkine)に変換される。

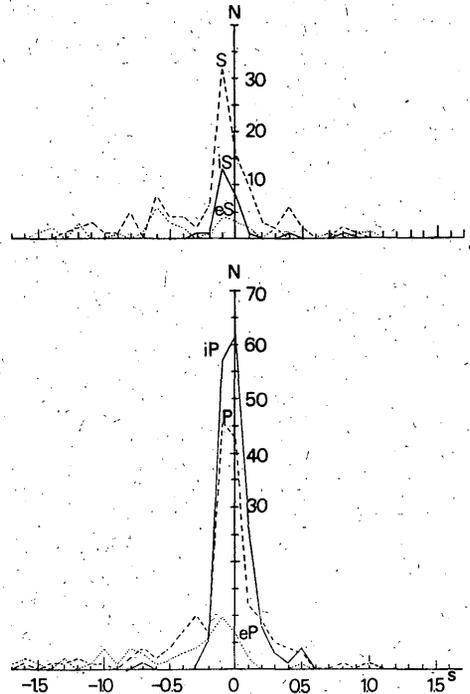


Fig. 13. Frequency distribution of discrepancies in P and S arrival times picked up by the computer and recognized by an operator. upper: S, lower: P

Tab. 2. Mean values of discrepancies of P and S arrival times picked up the present system and recognized by an operator.

	Δt		N		Δt		N
<i>iP</i>	^s 0.0 ₉	^s ±0.04	174	<i>iS</i>	^s -0.0 ₅	^s ±0.13	27
<i>P</i>	-0.3 ₀	±0.08	194	<i>S</i>	-0.2 ₃	±0.12	134
<i>eP</i>	-0.9 ₄	±0.15	75	<i>eS</i>	-0.9 ₄	±0.22	50

自動検測結果と最終検測結果との比較した結果を Fig. 13, Tab. 2 に示す。

同じ記録を白井ら(1979)のARモデルによるプログラムで処理した結果についても、同様の比較を行った(Fig. 14, Tab. 3)。

人間の判断が絶対正しいとは言えないが、立上りが明瞭な場合の総合的検測精度は±0.1秒の範囲であろう。現検測プログラムでは、*iP*の場合、多少人間の判断したものより早くになっているが、検測精度の範囲内の

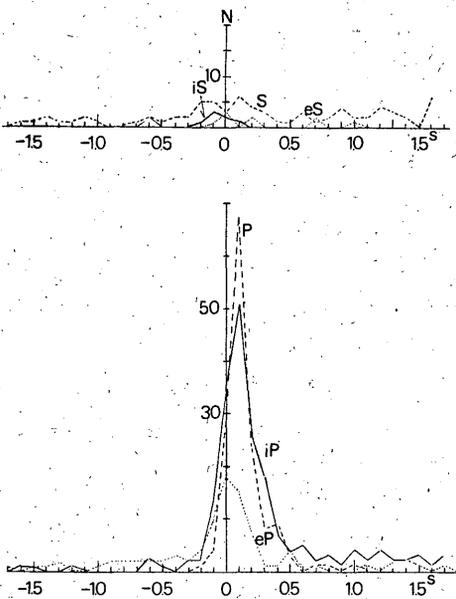


Fig. 14. Frequency distribution of discrepancies in *P* and *S* arrival times picked up by the Shirai's program and recognized by an operator.

Tab. 3. Mean values of discrepancies of *P* and *S* arrival times picked up by the Shirai's program and recognized by an operator.

	Δt		<i>N</i>		Δt		<i>N</i>
	s	s			s	s	
<i>iP</i>	0.56	± 0.07	179	<i>iS</i>	1.42	± 0.32	39
<i>P</i>	0.46	± 0.07	219	<i>S</i>	1.09	± 0.15	169
<i>eP</i>	0.01	± 0.14	114	<i>eS</i>	1.32	± 0.22	85

値である。*P*, *eP* の場合は、人間の判断結果よりおくれ気味である。*S* 相についても同様の傾向が認められる。

Fig. 13 からわかるように、*iP* でもだいたい前のほうを読み取ってしまうことがある。これは、*P* 相の発現時点を記録の零線を切る位置、あるいは、ノイズレベル以下になった位置としているので、*P* 波の到着直前に長周期の脈動があったり、直流分が残っている場合、*P* の立合がりを先にとってしまうのではないかと考えている。かと言って、波形の微分値の急変するところを見付けるようにしても、全体的に見て結果はかえって悪くなるようである。

白井らの場合は、筆者の結果に比べて、多少、劣るように見える。Tab. 2, 3 からわかるように、統計に使用したデータ数が両者で違うのは、両方法とも、*P*, *S* 相が必ず検出されるのではなく、同じ地震記録を解析した場合、たとえば前者は *P* だけ、後者は *P*, *S* 共に検出したと言うようなことがあるためである。この観点から Tab. 3 を見てみると、白井らのプログラムでは、しいて結果を出そうとしている傾向があるといえる。

とにかく、気象庁のようにいろいろな *S/N* 比の観測点で収録した各様な記録の検測を、完全自動化することは非常に困難である。自動検測結果の成功率を高めるためには、各観測点の *S/N* や記録の一般的傾向などから、観測点を幾つかの群に分け、各々にあったプログラムで検測を行うようにすればよさそう。しかし、これは大変な仕事である。

76型地震計も昭和54(1979)年3月に計画通り全国展開が終り、同年7月から正式観測が始まった。また、東海沖に敷設された海底地震計の記録も昭和54(1979)年9月から自動検測装置で処理されている。その結果、予想どおり(市川, 1978)、内陸に発生する浅発地震は規模3まで、殆んどもれなく震源要素が決定できるようになったようである(市川ら, 1980)。

Tab. 4. Number of data processed by the system (N_M) and that obtained by the conventional network of the 59 type seismograph (N_C) in 1979.

<i>N</i>	month	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July*	Aug.**	Sept.
	N_M		2202	2622	2491	2419	2874	2150	2948	2905
N_C		855	948	1103	1096	1571	717	1178	870	632
N_M/N_C		2.6	2.8	2.3	2.2	1.9	2.9	2.5	3.3	4.4

* Observation at 20 stations was started.

** Observation of ocean bottom seismographs installed off south coast of the Tokai area was started.

全国的に地震活動度が低かった昭和54(1979)年1月～9月にかけて、本システムで処理した地震記録数は毎旬1000近い(Tab. 4)。これは全国の59型地震計による験測地震数の2倍以上の数である。

昭和54年度から開始された気象資料伝送網が全国展開され、同時に67型・76型地震計出力が各管区気象台にテレメータされるようになると、地震波形データは、気象資料伝送網で、即日、地震課に伝送されるようになる予定である。その結果、全国の規模3程度以上の地震の活動が、2～3日後には詳しく知ることが出来るようになる、このとき、地震記録自動処理装置のはたす役割は、更に大きくなるであろう。これに備え、地震データ自動処理手順の改良の努力をおこたってはならない。

謝 辞

地震記録自動処理装置の開発は、67型地震計が展開中の昭和45(1970)年に、木村耕三地震課長(当時)・正務章補佐官(当時)の激励のもとに始まった。その後、筆者は気象研究所に移り、広野卓蔵地震研究部長(当時)、末広重二第一研究室長(現観測部長)の指導の下に、同装置の開発に専念した。

現在の地震記録自動処理装置が昭和49(1974)年度に地

震課に設置されたが、同装置による67型地震計記録の処理のルーチン化のため、栗原隆治氏(現静岡地方気象台調査官)からは、絶大な援助を賜った。

さらに、験測プログラムの作成に当っては、株式会社日立製作所の多くの関係者から有益な助言を戴いた。

筆を措くにあたって、上記各位、その他多くの関係者に深く感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- Allen, R. V. (1978): Automatic Earthquake Recognition and Timing from Single Traces, Bull. Seis. Soc. Am. 68, 1521～1531.
- 市川政治(1980): 気象庁新地震観測網の震源決定能力, 験震時報, 42, 55～60.
- 市川政治, 藤沢 格・吉田 弘(1980): 震源計算装置と処理結果, 験震時報, 44, 75～85.
- 前田 函(1978): 地震・地殻変動テレメータ処理装置, 地震・地殻変動テレメータデータ一次処理, 北海道大学理学部地震予知観測地域センター, 地震観測センター速報, 3, 1～7.
- 松村正三, 大久保正・勝山ヨシ子・浜田和郎(1979): 計算機による地殻変動観測データ処理システム, 国立防災科学技術センター研究速報, 35, 1～18.
- 白井克彦・徳弘一路(1979): 地震波初動の自動検出, 地震, 2, 32, 141～147.
- 渡辺 晃・黒磯章夫(1977): 阿武山地震観測所における微小地震の自動処理について, 地震, 2, 30, 115～118.